

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 10 MAY 2004

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 33 570.6

**Anmeldetag:**

23. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:**

LINOS Photonics GmbH & Co KG,  
37081 Göttingen/DE

**Bezeichnung:**

Faradayrotator

**IPC:**

G 02 F 1/09

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 02. April 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**LECT AVAILABLE**

**Stremme**

---

F A R A D A Y R O T A T O R

---

Die Erfindung betrifft einen Faradayrotator für einen Faradayisolator gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs, nämlich einen solchen Faradayisolator mit einem Eintrittspolarisator, mit einem Austrittspolarisator, mit einem dazwischen angeordneten, walzenförmigen, zu dessen Symmetrieachse symmetrisch angeordneten optischen Kristall, mit einem diesen umgebenden, senkrechten hohlen Zylinder aus einem permanentmagnetischen Werkstoff, der axial magnetisiert ist und dessen Magnetfeld sich in dem hohlen Raum etwa parallel zu der in nur einer Richtung vom Nordpol zum Südpol verlaufenden Symmetrieachse erstreckt, und mit je einem sich an die beiden Stirnflächen in der von den zu der Symmetrieachse Senkrechten y- und z-Richtung aufgespannten Ebene anschließenden Abschlussmagnet, der als hohler, senkrechter Zylinder ausgebildet ist und in Verlängerung der Symmetrieachse eine Durchlassöffnung aufweist.

Faradayisolatoren, auch optischer Isolator genannt, besitzen die Aufgabe, einen Laserstrahl in nur einer Richtung passieren zu lassen. Hierzu weist er einen optischen Rotator auf, auch Faradayrotator genannt,

an dessen Ein- und Ausgang jeweils ein Polarisator montiert ist, deren Polarisationsrichtung zueinander einen halben rechten Winkel bilden. Der Faradayrotator besteht im allgemeinen aus einem walzenförmigen Kristall aus einem magnetooptischen Material (zum Beispiel TGG). Der Kristall ist von einem hohlen senkrechten Zylinder aus einem permanentmagnetischen Werkstoff umgeben, welcher ein längs der Symmetrieachse des Kristalls verlaufendes Magnetfeld erzeugt. Der Faradayeffekt besteht darin, dass die Polarisationsrichtung des eintretenden Laserstrahls beim Durchgang durch den Kristall um einen bestimmten Winkel gedreht wird. Dabei ist der Drehsinn der Verdrehung der Polarisationsrichtung unabhängig von der Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls. Der Betrag des Drehwinkels hängt von einer für das Material des optischen Kristalls charakteristischen Konstanten ab. Diese ihrerseits ist eine Funktion der Wellenlänge des Laserstrahls. Der Verdrehwinkel der Polarisationsrichtung wird hierbei im Betrieb so eingestellt, dass er etwa  $45^\circ$  einnimmt. Um diesen Winkel ist auch der Ausgangspolarisator verdreht angeordnet, der mithin die maximale Strahlenintensität transmittiert. Ein gegen die Ausbreitungsrichtung laufender Strahl passiert den Ausgangspolarisator und wird von dem Faradayrotator wiederum um  $45^\circ$  (in die gleiche Richtung), also insgesamt um einen rechten Winkel gedreht, so dass an dem Eingangspolarisator für den rücklaufenden Laserstrahl eine hohe Auslöschung, auch Extinktion genannt, bewirkt wird. Um diese weiter zu einer höheren Extinktion zu steigern, werden sogenannte zwei- oder auch sogar mehrstufige Faradayisolatoren verwendet, bei denen die Extinktion weiter verbessert wird.

Ein solcher gattungsgemäßer Faradayisolator gemäß dem Oberbegriff ist an sich bekannt. Der walzenförmige magnetooptische Kristall ist von einem im Querschnitt kreisringförmigen, senkrechten hohlen Zylinder aus permanentmagnetischem Material umgeben, der magnetisch in axialer Richtung polarisiert ist. An die beiden Deckflächen dieses hohlen Zylinders können sich -beiderseits- je ein Abschlussmagnet in Form eines senkrechten, im Querschnitt kreisringförmigen Hohlzylinders anschließen, die beide parallel zur Symmetrieachse des magnetooptischen Kristalls, also auch in axialer Richtung magnetisiert sind, wie der den Kristall umgebende hohle Zylinder. Außerdem sind die beiden Abschlussmagnete axial in gleicher Richtung zueinander und bezüglich des hohlen Zylinders als Zentralmagnet entgegengesetzt magnetisiert.

Ein solcher allgemein bekannter Faradayisolator hat sich bewährt. Um die notwendigen magnetischen Feldstärken im magnetooptischen Kristall zu erreichen, ist allerdings eine kompaktere Bauweise nicht möglich.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen Faradayisolator gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs bei guter Homogenität der magnetischen Feldstärke kompakter auszugestalten.

Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Faradayisolator gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs erfindungsgemäß durch dessen kennzeichnende Merkmale nämlich dadurch gelöst, dass jeder Abschlussmagnet zumindest bereichsweise im wesentlichen bezüglich der Symmetrieachse radial

magnetisiert ist, dass der eine der beiden Abschlussmagnete radial von innen nach außen und der andere Abschlussmagnet radial von außen nach innen gerichtet magnetisiert ist und dass der hohle Zylinder mit seinem Nordpol an den von innen nach außen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet und mit seinem Südpol an den von außen nach innen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet angrenzt.

Bei dem erfindungsgemäßen Prinzip ist also der in axialer Richtung parallel zur Symmetrieachse magnetisierte -mittlere- Zylinder wichtig. Dessen magnetische Feldstärken werden in dem hohlen Raum des Zylinders (also im Bereich des Kristalls) durch die beiden Abschlussmagnete im Bereich der Berührungsstelle zu dem -mittleren- Zylinder so verstärkt, dass sich über die axiale Länge des Kristalls eine höhere magnetische Feldstärke ergibt.

Dieses erfindungsgemäße Prinzip weist den Vorteil auf, dass man bei gleicher Effizienz eine sowohl in axialer als auch radialer Richtung erheblich kleinere Bauform für den Faradayrotator vorsehen kann, so dass sich insgesamt für den Faradayisolator gemäß der Erfindung eine kompakte Bauform ergibt. Um diese weiter zu einer maximalen Extinktion zu steigern, bei der die noch vorhandene letzte Transmission unter vernachlässigbare Werte gedrückt wird, kann die Erfindung auch bei den zwei- oder mehrstufigen Faradayisolatoren Einsatz finden.

Die beiden Abschlussmagnete können entweder als einstückige senkrechte, im Querschnitt kreisförmige Hohlzylinder mit einem bezüglich der Symmetrieachse ideal radial ausgerichteten Magnetfeld ausgestattet sein, oder aus im Querschnitt im wesentlichen

kreissektorförmigen einzelnen Teilen nach Art von Tortenstücken bestehen, in denen eine einheitliche Ausrichtung des Magnetfeldes in eine Richtung, und zwar parallel zu der -durch die Symmetrieachse des Kristalls hindurchgehende- Symmetrieebene des tortenstückförmigen Teils vorherrscht.. Eine solche Ausbildung würde man dann erhalten, wenn man das tortenstückförmige Teil aus einem quaderförmigen Permanentmagnet mit einheitlichem Magnetfeld herauschneidet.

Es ist zwar bekannt, bei Faradayisolatoren näherungsweise radial magnetisierte Magnete einzusetzen (US-A 5,528,415). Abgesehen davon, dass diese aus vier strahlensymmetrischen, im Querschnitt trapezförmigen Teilen bestehende Magnete unter Freilassung eines im Querschnitt quadratischen Durchlasses, also im Gegensatz zur Erfindung den walzenförmigen Kristall nicht symmetrisch erfassen, fehlt ein mittiger Zylinder des Permanentmagneten bei dieser bekannten Ausführungsform, der aber für die Erfindung wegen des Überlagerungseffektes an der Berührungsstelle wichtig ist. Außerdem sind die beiden radial magnetisierbaren Magnete in Axialrichtung beabstandet voneinander angeordnet, so dass infolge dessen nur ein schwacher Überlagerungseffekt im Nachbarschaftsbereich der beiden Magnete zum Tragen kommen kann. In zweckmäßiger Ausführungsform sind die zumindest bereichsweise im wesentlichen radial magnetisierten Abschlussmagnete so magnetisiert, dass sie auch noch eine Komponente in Richtung der Symmetrieachse des Kristalls besitzen. Hierdurch bedingt ergibt sich eine weitere Steigerung der Stärke des Magnetfeldes im hohlen Bereich des Zylinders im Vergleich zu dem gattungsgemäßen Stand der Technik.

Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigt:

Figur 1 den Faradayrotator gemäß der Erfindung in perspektivischer Darstellung;

Figur 2 den Faradayrotator gemäß Figur 1, in schematischer Stirnansicht;

Figur 3 eine Ansicht III-III gemäß Figur 2;

Figur 4 einen Schnitt IV-IV gemäß Figur 3;

Figur 5 einen Schnitt V-V gemäß Figur 4;

Figur 6 die Einzelheit VI gemäß Figur 2;

Figur 7a den Schnitt VII-VII gemäß Figur 6, als erste Ausführungsform und

Figur 7b den Schnitt VII-VII gemäß Figur 6 in zweiter Ausführungsform.

Der insgesamt mit 10 bezeichnete Faradayisolator in Figur 1 ist bezüglich seiner Symmetrieachse (x) symmetrisch aufgebaut. Er weist einen senkrechten, im Querschnitt kreisringförmigen -mittleren- Zylinder 11 auf (Fig. 1a), in dessen zylinderförmigen Hohlraum 12 der insgesamt mit 13 bezeichnete magnetooptische Kristall angeordnet ist (Fig. 1b). Der Kristall kann

in axialer Richtung sich über die gesamte axiale Länge des Zylinders 11 bis zu den beiden Stirnflächen 14 erstrecken, die in den beiden, zur Symmetrieachse  $x$  senkrechten, durch die  $y$ - sowie  $z$ -Achse aufgespannten Ebene liegen. Der Zylinder 11 besteht aus einem permanentmagnetischen Werkstoff und ist mit seinem Magnetfeld  $B$  parallel zur Symmetrieachse  $x$  ausgerichtet. (Figur 1b).

An die beiden Stirnflächen 14 schließen sich, wie aus Figur 1a ersichtlich, die beiden Abschlussmagnete 16 und 17 an, die beide ebenfalls wie der Zylinder 11 als hohle, senkrechte, im Querschnitt kreisringförmige Zylinder ausgebildet sind und in Verlängerung der Symmetrieachse  $x$  eine Durchlassöffnung 18 (siehe auch Figur 2) aufweisen.

Der hohle Zylinder 11 als Permanentmagnet ist in den Figuren 4 und 5 näher dargestellt. Deutlich ersichtlich ist die parallel zur Symmetrieachse  $x$  ausgerichtete magnetische Feldstärke  $B$ , deren Nordpol  $N$  sich auf der einen Stirnseite 14 und deren Südpol  $S$  sich auf der gegenüberliegenden Stirnseite befindet.

Jeder der beiden Abschlussmagnete 16, 17 ist beim wiedergegebenen Ausführungsbeispiel nicht einstückig und exakt radial magnetisiert ausgebildet, sondern besteht aus acht tortenstückähnlichen bezüglich der Symmetrieachse  $x$  im wesentlichen radial magnetisierten, strahlensymmetrischen Teilen 19 bzw. 20. Ein solches Teil 19 (Fig. 2) ist in Figur 6 näher und im größeren Maßstab dargestellt. Die Symmetrieachse  $x$  steht hierbei senkrecht zur Zeichenebene, die im Schnitt den bis auf die Durchlassöffnung 18 im wesentlichen kreissektorförmigen Teil in der  $y$ - $z$ -Ebene zeigt.



In dem Schnitt VII-VII sind in den zugehörigen Figuren 7a und 7b zwei verschiedene Ausführungsformen gezeigt. Bei der Ausführungsform gemäß Figur 7a ist das magnetische Feld ohne eine Komponente in Richtung der Symmetrieachse x, also nur in der y-z-Ebene ausgerichtet. Bereits diese Ausführungsform besitzt ein gegenüber dem gattungsgemäßen Stand der Technik stärkeres Magnetfeld im Bereich des Kristalles 13.

Wenn darüberhinaus das gesamte Magnetfeld B noch einen von  $90^\circ$  abweichenden Winkel mit der Symmetrieachse x bildet, so ergeben sich noch bessere Ergebnisse als bei der Ausführungsform gemäß Figur 7a, (die aber durch einen erhöhten Fertigungsaufwand erzielt werden). Innerhalb eines Teiles 19 bzw. 20 ist die Ausrichtung des magnetischen Feldes B parallel zueinander und, in der Schnittebene VII-VII gemäß Figur 6 ausgerichtet, die die Spiegelsymmetrieebene für das in Figur 6 gezeigte Teil 19 des Abschlussmagneten 16 bildet.

Wichtig ist nunmehr die Anordnung und Polarisierung der Abschlussmagnete zu dem axial magnetisierten Zylinder 11.

Zunächst ist, wie mit Bezug auf die Figuren 6 und 7 schon dargelegt, jedes Teil 19 oder 20 der Abschlussmagnete 16 bzw. 17 etwa radial magnetisiert. Außerdem ist der eine Abschlussmagnet 17 dann von innen nach außen (also mit im äußeren Teilmantelbereich liegenden Südpol S) magnetisiert, wohingegen der andere Abschlussmagnet 16 von außen nach innen, also im außenliegenden Teilmantelbereich liegenden Nordpol polarisiert, wie schematisch in den Figuren 2 und 3 dargestellt.

Schließlich muss nach Lehre der Erfindung der hohle Zylinder 11 mit seinem Nordpol N an den von innen nach außen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet 17 und mit seinem Südpol S an den von außen nach innen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet 16 angrenzen, wie es in den Figuren 2 und 3 gezeigt ist. Nur dann werden die erfindungsgemäßen Ergebnisse erzielt.

---

P A T E N T A N S P R Ü C H E

---

1. Faradayrotator für einen Faradayisolator mit einem Eintrittspolarisator, mit einem Austrittspolarisator, mit einem dazwischen angeordneten, walzenförmigen, zu seiner Symmetrieachse (x) symmetrisch angeordneten optischen Kristall (13), mit einem diesen umgebenden, senkrechten Zylinder (11) mit einem hohlen Raum aus einem permanentmagnetischen Werkstoff, welcher Zylinder axial magnetisiert ist und dessen Magnetfeld (B) sich in dem hohlen Raum (12) etwa parallel zu der in nur einer Richtung vom Nordpol (N) zum Südpol (S) verlaufenden Symmetrieachse (x) erstreckt, und mit je einem sich an die beiden Stirnflächen (14) in der von den zu der Symmetrieachse (x) Senkrechten y- und z-Richtung aufgespannten Ebene anschließenden Abschlussmagnet (16, 17), von denen jeder als hohler, senkrechter Zylinder ausgebildet ist und in Verlängerung der Symmetrieachse (x) eine Durchlassöffnung (18) aufweist, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jeder Abschlussmagnet (16, 17) zumindest bereichsweise im wesentlichen bezüglich der Symmetrieachse (x) radial magnetisiert ist, dass der eine der beiden Abschlussmagnete (16) radial von innen (N) nach außen (S) und der andere

Abschlussmagnet (17) radial von außen (N) nach innen (S) gerichtet magnetisiert ist und dass der hohle Zylinder (11) mit seinem Nordpol (N) an den von innen nach außen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet (17) und mit seinem Südpol (S) an den von außen nach innen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet (16) angrenzt (Fig. 3).

2. Faradayrotator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Abschlussmagnet (16, 17) aus zwei oder mehr bezüglich der Symmetrieachse (x) zumindest bereichsweise im wesentlichen radial magnetisierten, strahlensymmetrischen Teilen (19 bzw. 20) besteht.

3. Faradayrotator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Teile (19, 20) des Abschlussmagneten (16, 17) zusammen einen senkrechten kreisförmigen Hohlzylinder bilden.

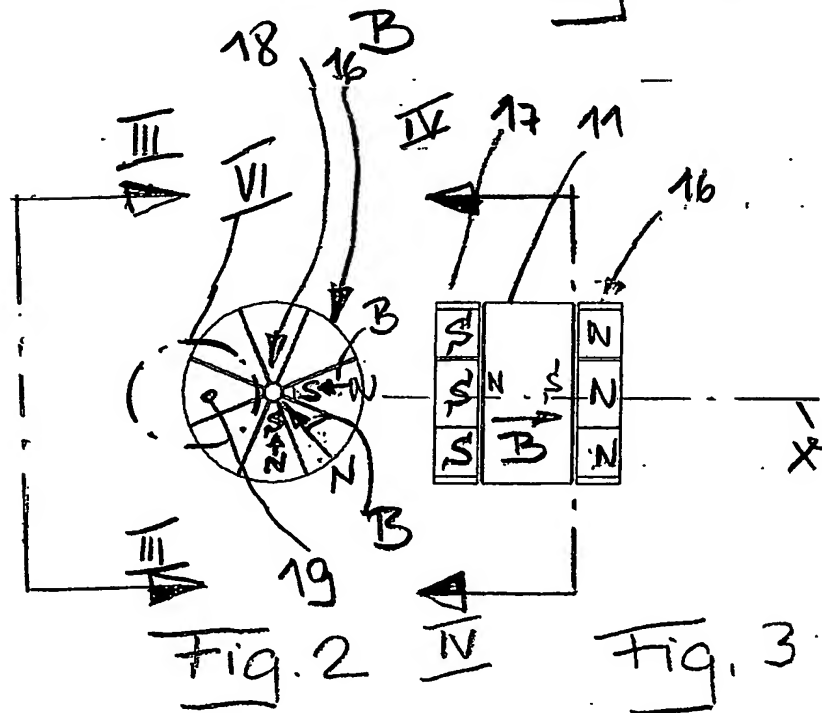
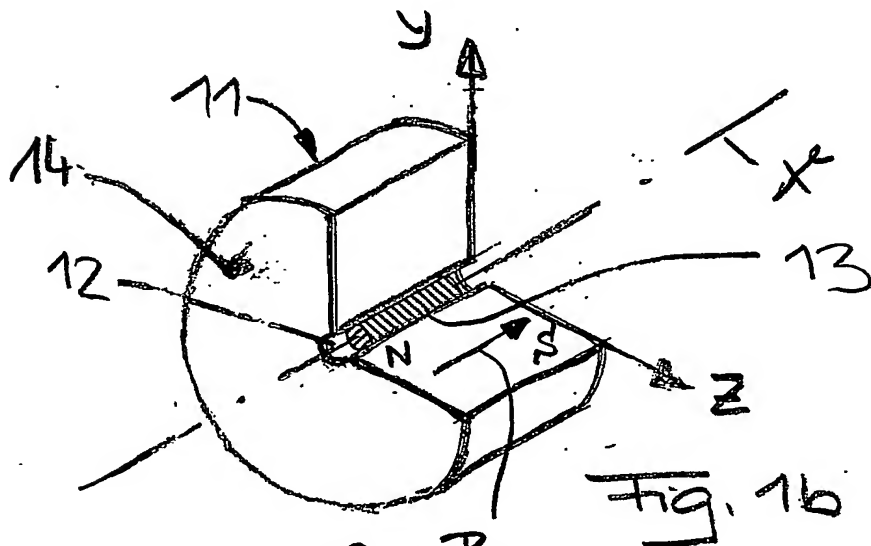
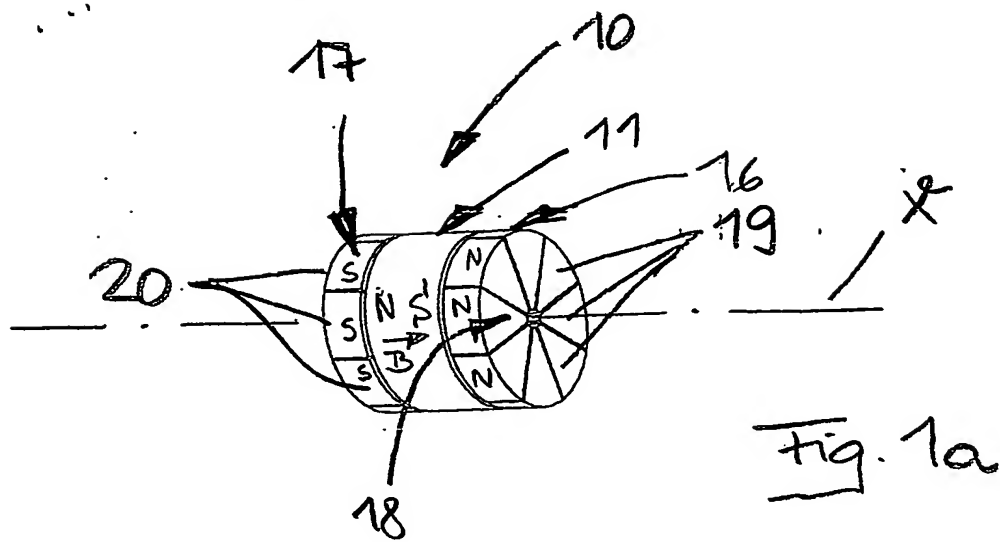
4. Faradayrotator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Teile (19, 20) im Schnitt längs der y-z-Achse im wesentlichen kreissektorförmig mit einem großen Radius und mit einem inneren fehlenden Bereich, z.B. in Form eines Kreissektors kleineren Durchmessers zur Bildung der Durchlassöffnung (18) ausgebildet sind (Fig. 6).

5. Faradayrotator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Teile (19, 20) der im wesentlichen radial magnetisierten Abschlussmagnete (16 bzw. 17) auch noch eine

Komponente in Richtung der Symmetrieachse (x)  
besitzen (Figur 7b).

## Zusammenfassung

Ein Faradayrotator für einen Faradayisolator mit einem Eintrittspolarisator, mit einem Austrittspolarisator, mit einem dazwischen angeordneten, walzenförmigen, zu dessen Symmetrieachse symmetrisch angeordneten optischen Kristall, mit einem diesen umgebenden, senkrechten hohlen Zylinder aus einem permanentmagnetischen Werkstoff, der axial magnetisiert ist und dessen Magnetfeld sich in dem hohlen Raum parallel zu der in nur einer Richtung vom Nordpol zum Südpol verlaufenden Symmetrieachse erstreckt, und mit je einem sich an die beiden Stirnflächen in der von den zu der Symmetrieachse Senkrechten y- und z-Richtung aufgespannten Ebene anschließenden Abschlussmagnet, der als hohler, senkrechter Zylinder ausgebildet ist und in Verlängerung der Symmetrieachse eine Durchlassöffnung aufweist, ist dadurch gekennzeichnet, dass jeder Abschlussmagnet zumindest bereichsweise im wesentlichen bezüglich der Symmetrieachse radial magnetisiert ist, dass der eine der beiden Abschlussmagnete radial von innen nach außen und der andere Abschlussmagnet radial von außen nach innen gerichtet magnetisiert ist und dass der hohle Zylinder mit seinem Nordpol an den von innen nach außen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet und mit seinem Südpol an den von außen nach innen gerichtet magnetisierten Abschlussmagnet angrenzt.



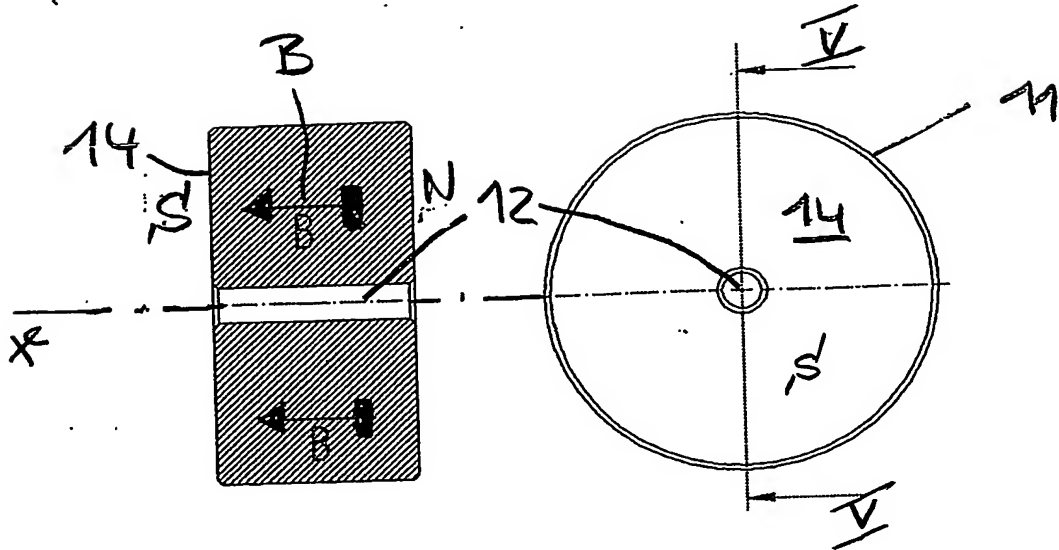


Fig. 5

Fig. 4

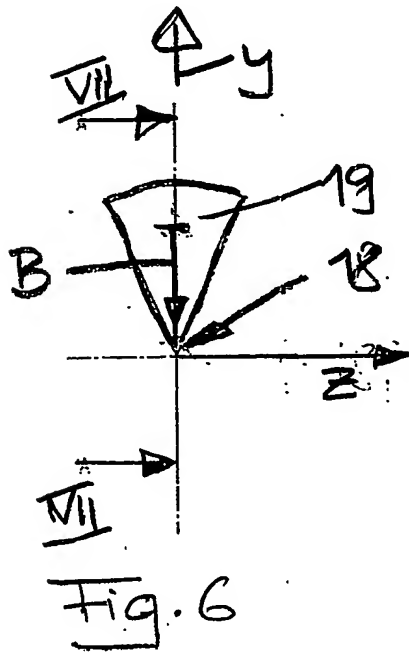


Fig. 6

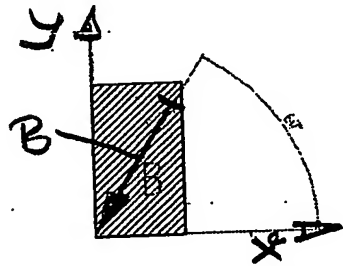


Fig. 7b

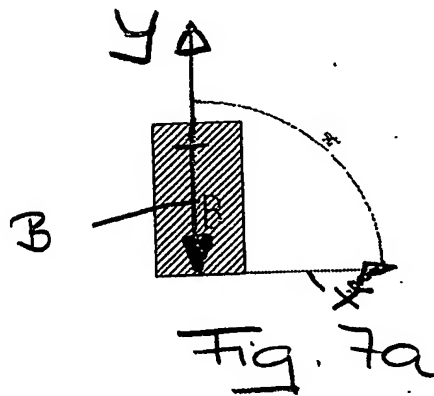


Fig. 7a



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**